Aus dem Strahleninstitut (Prof. Dr. Voltz)
der Universitätsfrauenklinik München.
Vorstand: Prof. Dr. Heinrich Eymer.

Ueber den Einfluß des Lichtes auf das biologische Geschehen

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

verfaßt und einer
Hohen medizinischen Fakultät
der Bayer. Ludwigs-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Heinz Kuestermann
aus Lyck.

Buch- und Kunstdruckerei Wilh. Postberg, Bottrop i.W.
1938

Referent: Prof. Dr. H. Eymer

Derzeitiger Dekan: Prof. Dr. Kürten.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München.

Inhalt.

		Seite
A.	Einleitung	5
B.	Physikalische Vorbemerkungen	6
C.	Direkte Lichtwirkungen	9
	1. Erythembildung	9
	2. Pigmentbildung	11
	3. Lichtgewöhnung und Lichtempfindlichkeit	12
	4. Antirachitische Wirkung	14
	5. Wirkung auf das Auge	16
	6. Wirkung auf Bakterien	17
D.	Indirekte Lichtwirkungen	19
	1. Wirkung auf das Blut	19
	2. Wirkung auf den Kreislauf	21
	3. Wirkung auf Atmung, Grundumsatz, Temperatur	21
	4. Wirkung auf den Stoffwechsel	21
	5. Weitere indirekte Lichtwirkungen	22
E.	Theorien der Strahlenwirkung	26
F.	Zusammenfassung	28
G.	Literatur	30

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554005_0025

A. Einleitung.

Die Erkenntnis, daß Licht eine biologische Wirkung ausübt, ist alt. Bereits die Aegypter und Assyrer waren von der Heilwirkung des Sonnenlichtes überzeugt und nahmen auf den Dächern ihrer Häuser Sonnenbäder. Bei den Griechen war Aeskulap, der Gott der Heilkunde, der Sohn des Lichtgottes Phöbus Apollo. Hippokrates spricht von dem wohltuenden Einfluß des Sonnenlichts auf die Gesundheit, Antyllos (um 150 n. Chr.) beschreibt die Wirkungen eines Sonnenbades wie folgt: „es steigert die innere Transpiration, ruft Schweiß hervor, hemmt die Zunahme des Leibes, kräftigt das Fleisch, macht das Fett schwinden und schlaffe Geschwülste, besonders die der Wassersüchtigen, kleiner. Den Atem aber macht es schneller und lebhafter und deswegen reizt es die Engbrüstigen und, welche mit steifem Nacken atmen." Durch Galenus (2. Jahrhundert n. Chr.) war bis zur Zeit des Parazelsus die Sonnenbehandlung ein fester Bestandteil der ärztlichen Heilkunst geworden. Aber auch den Germanen war der heilende und gesundheitsfördernde Einfluß des Lichts nicht unbekannt. Freyr, ihr Sonnengott, förderte das Wachstum der Pflanzen und unter seinen wohltuenden Strahlen fühlten sich Mensch und Tier wohl. Im Mittelalter ging aber diese Erkenntnis von dem günstigen Einfluß des Lichts verloren. Parallel mit dem allgemeinen Niedergang der Hygiene und der Medizin setzte auch eine naturabgewandte Lebensweise ein, die von der Anwendung von Luft, Licht und Wasser nichts wußte. Erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts begann dann die wissenschaftliche Bearbeitung des Lichteinflusses. Seither ist eine Unzahl der verschiedensten Einflüsse des Lichts auf das biologische Geschehen festgestellt worden, die heute in der Zeit vermehrter Zuwendung zu einer naturverbundenen, sich wieder zu Blut und Boden bekennenden Lebensweise, große Beachtung verdienen.

B. Physikalische Vorbemerkungen.

Das Licht ist ein Reiz, dem fast alle Organismen Zeit ihres Lebens ausgesetzt sind. Es ist nun zu untersuchen, wie dieser konstante Reiz Licht auf die unter physiologischen Bedingungen sich abspielenden Vorgänge in den Lebewesen einwirkt.

Das Wort Licht umfaßt im folgenden nicht nur die Strahlen, die uns unsere Umgebung erkennen lassen, sondern auch eine große Anzahl unsichtbarer Strahlen, die alle unter sich wesensgleich sind, nämlich Schwingungen der elektromagnetischen Energie, sich voneinander nur durch ihre verschiedene Wellenlänge unterscheiden. Sichtbar sind die Strahlen von ca. 760 bis 400 μμ, d. h. sie vermögen die brechenden Medien des Auges zu durchdringen und die Retinazellen zu erregen. Die unsichtbaren Strahlen von längerer oder kürzerer Wellenlänge werden durch die Veränderungen nachgewiesen, die sie in den Medien erzeugen, in denen sie absorbiert werden. So wirken die ultraroten Strahlen mit einer Wellenlänge von 760 μμ — 50,0 μ vorwiegend thermisch, die ultravioletten mit einer Wellenlänge von 400—296 μμ vorwiegend chemisch.

Trifft nun Licht auf die Körperoberfläche auf, so wird der Verlauf desselben zunächst durch das Reflexions- und Brechungsvermögen der Haut bestimmt. Nur ein Teil des Lichts dringt also in den Körper selbst ein und wird dort teilweise oder ganz absorbiert, kann also wirksam werden, während die reflektierten oder hindurchpassierenden Strahlen keine Veränderung bewirken können (Grotthus-Draper'sches Gesetz).

Die Absorption und damit die Tiefenwirkung des Lichtes hängt weitgehend von der physikalisch-chemischen Struktur des Gewebes ab. Als lichtabsorbierender Stoff spielt das Blut bezw. sein Haemoglobingehalt die größte Rolle (Guthmann). Schon

eine Blutschicht von 0,07 mm absorbiert das kurzwellige Licht unter 300 μμ fast vollkommen. Danach kommen das Serum und dann die Körpereiweißstoffe und das Fett in Betracht. Natürlich sind auch die Pigmente von großer Wirksamkeit. Polichromatisches Licht wird durch die Anwesenheit des Haemoglobins so verändert, daß eine starke selektive Absorption der grünen, blauen und violetten Farbkomponenten stattfindet. Auch Fette und Lipoide lassen hauptsächlich nur die längerwelligen Strahlen hindurch. Frankenburger stellte fest, daß das Tyrosin, in alkalischer Umgebung, wie es sich in der Haut vorfindet, einen der Hautabsorptionskurve fast genau entsprechenden Absorptionsverlauf hat. So kommt es, daß die kurzwelligen Strahlen schon im Stratum corneum zum weitaus größten Teil zurückgehalten werden. Nach Jüngling werden bei 313 μμ 70%, bei 302 μμ 92%, von 289 μμ ab die gesamte Strahlung in den obersten 1/10 mm der Haut absorbiert. Nach Bachem gelangen nur 15% einer Wellenlänge von 280 μμ in 0,3 mm Hauttiefe, während von 400 μμ schon 80% dahin kommen. Das Maximum der Durchlässigkeit liegt für das Stratum corneum bei 550 μμ mit 87%. Sicher ist, daß das rote Licht noch besser als dieser gelbgrüne Bezirk hindurchgelassen wird. Wir würden also graphisch dargestellt, für die Tiefenwirkung des Lichts gegenüber dem menschlichen Körper eine Kurve bekommen, die im ultraroten Teil beginnend, allmählich ansteigt, ihr Maximum im rotgelben Teil erreicht, um gegen das Ultraviolett sehr stark abzufallen. Die biologische Wirkung des Lichts hängt damit von drei Größen ab: 1. von der Wellenlänge des Lichts, 2. von der Größe des vorgelagerten Hautfilters, 3. von der chemisch-physikalischen Zusammensetzung der bestrahlten Zellschichten.

Mit abnehmender Wellenlänge werden die Strahlen immer mehr in den oberflächlichen Schichten absorbiert, d. h. die hier pro Zelle absorbierte Energie und damit die biologische Wirksamkeit steigt an. Die Grenze zwischen den sog. äußeren U.V.-Strahlen, die nur oberflächlich wirken, und den inneren fand Christen bei 300 μμ. Die Pigmentbildung wird also bei Licht, das nur Strahlen bis 310 μμ enthält, gering sein, weil diese Strahlen

zu durchdringungsfähig sind. Deshalb nennt Jüngling diese Strahlen auch penetrierende und stellt bei ihnen eine Reaktion sämtlicher Hautschichten fest; biologisch sollen sie dadurch höher zu bewerten sein. Dagegen tritt ein starkes Erythem auf bei einem Strahlenbereich bis hinunter zu 290 μμ. Die dem Sonnenlicht fehlenden Strahlen unter 290 μμ (Schanz) besitzen infolge der starken Absorption in den obersten Zellen eine ausgesprochene Reizwirkung, vermögen aber eine eigentliche Lichtreaktion nicht hervorzubringen.

Ist nun der biologische Einfluß des Lichts abhängig von der Wellenlänge, gibt es eine spezifische Strahlenwirkung? Die biologischen Wirkungen hängen nicht von der Wellenlänge ab, sondern allein die strahlende Energie ist das wirksame Prinzip (Holthusen und Zweifel; Glocker; Hertel). Wenn es nur gelingt, die dazu notwendige Energie an den Ort der Wirksamkeit zu bringen, so ist es möglich, mit Strahlen der verschiedensten Wellenlängen dieselben Reaktionen hervorzurufen; so gelingt z. B. die Umwandlung des Histidins in Histamin sowohl durch U.V.-Licht als auch durch Röntgen- und Kathodenstrahlen, ebenso die Vitamin-D-Bildung (Brummer).

Die Wirkungen des Lichts auf das biologische Geschehen kann man in zwei Hauptgruppen einteilen: in direkte und indirekte. Direkte sind alle diejenigen, die die Körperoberfläche und die unmittelbar anliegenden Gewebe sowie das Auge betreffen, alle anderen sind indirekt.

C. Direkte Lichtwirkungen.

1. Erythembildung.

Nach mäßiger Einwirkung ultravioletten Lichts, wie sie etwa einer einstündigen Besonnung im Flachland entspricht, entsteht ein Erythem, das bei längerer Strahlenwirkung mit Oedem- und Blasenbildung verbunden sein kann. Dieses Erythem tritt erst nach einer Latenzzeit von ca. 2 Stunden auf, erreicht in 7 Stunden das Maximum und ist nach 18—24 Stunden abgeklungen (Schall, L.). Seine Farbe schwankt vom blassen Rosa bis zu düsterem Blauviolett und ist einheitlich ohne Zeichnung. Die erythematöse Hautstelle ist um 0,5°—2,0° wärmer als die Umgebung. Aehnlich wie das Erythem tritt diese Temperaturerhöhung auch erst nach einer Latenzzeit auf, erreicht aber früher als das Erythem ihr Maximum (Haußer und Vahle).

Für diese Erythembildung ist ein bestimmter Spektralbezirk des Ultraviolett verantwortlich zu machen, und zwar beginnt nach den Untersuchungen von Haußer und Vahle die Wirksamkeit bei 313 μμ, erreicht ihr Maximum bei 303—297 μμ, fällt bei 250 μμ stark ab und hat bei noch kürzerer Wellenlänge ein zweites, kleineres Maximum. Uebereinstimmend mit Haußer und Vahle stellten Adams und Barnes fest, daß ein Erythem, das durch langwelliges U.V.-Licht hervorgerufen wurde, langsamer entsteht, einen tieferen Farbton erreicht und auch langsamer wieder abklingt als ein durch kürzere U.V.-Strahlen entstandenes (kürzer als 297). Dieses Lichterythem gleicht in seinen klinischen Erscheinungen dem Verhalten der Haut, wenn man ihr intrakutan Histamin einverleibt. Deshalb nehmen Ebecke und Trendelenburg an, daß auch das Lichterythem durch histaminähnliche Körper entsteht, die durch die

U.V.-Wirkung freigesetzt werden. Nach F. Ellinger kann das Histamin aber auch aus dem Histidin der Haut durch Bestrahlung mit U.V.-Licht entstehen.

Histologisch ist in der Haut während der Latenzzeit nach einer Bestrahlung keine Veränderung wahrzunehmen. Etwa 5 Stunden danach sieht man in der Cutis den ersten pathologischen Befund: die Kapillaren sind erweitert, große Mengen von Erythrozyten und Leukozyten haben sich angesammelt. Die Epithelzellen sind aber unverändert. Erst nach ca. 20 Stunden treten auch Veränderungen in der Epidermis auf: degenerative Prozesse in der Stachelzellenschicht, die Horn- und die Körnerschichten degenerieren dagegen nie. Die Gefäße sind strotzend gefüllt, die Gewebe ödematös durchtränkt, große Mengen von Leukozyten liegen außerhalb der Gefäße. Später ist die Epidermis deutlich in zwei Schichten geteilt: oberflächlich haben sich aus den nekrotischen Zellen der Stachelschicht Schuppen gebildet, nur vereinzelt sieht man normale Zellen. Darunter befinden sich normale Stachel- und Basalzellen (n. Keller). Nach ein paar Tagen hat sich die Haut erneuert, auf ihr liegt die aus abgestorbenen Zellen bestehende Lichtschuppe.

Mit sichtbarem Licht allein läßt sich ein Erythem nicht hervorrufen (Lomholt, S.).

Die unsichtbaren ultraroten Strahlen mit einer Wellenlänge von 760 μμ—50,0 μ bezeichnet man auch als nichtleuchtende Wärmestrahlung, die nach K. Sonne besser als die „leuchtende" vertragen wird. Sie haben eine große Durchdringungskraft, üben also ihre Wirkung nicht wie die U.V.-Strahlen nur auf die obersten Hautschichten aus (Bachem). Durch Zufuhr dieser strahlenden Wärme werden ebenfalls Stoffe, die dem Histamin ähnlich sind, freigesetzt und bewirken durch die Erweiterung der Gefäße das sogenannte Wärmeerythem. Da aber keine photochemische Neubildung von Histamin stattfindet wie bei der U.V.-Bestrahlung, ist das Wärmeerythem äußerst flüchtig und die Haut nach Wärmeeinwirkung an Histaminsubstanzen verarmt. Wenn die bestrahle Fläche nur wenige Quadratzentimeter groß ist, ist es ähnlich wie das U.V.-Erythem homogen.

Bei größeren Bestrahlungsflächen ist es dagegen deutlich fleckig oder netzförmig gezeichnet, um so ausgesprochener, je stärker die Bestrahlung war. Diese eigenartige Form wird durch die große Durchdringungsfähigkeit der ultraroten Strahlen bedingt, die auch die subpapillaren und tieferliegenden Arterien und Venen erweitern. Charakteristisch für das Wärmeerythem ist es also, daß es ohne Latenzzeit sofort auftritt, daß es nach Aufhören der Wärmeeinwirkung nach wenigen Minuten abklingt und daß keine Pigmentierung wie bei dem Lichterythem nachfolgt. Erst nach starken oder wiederholten Bestrahlungen tritt eine Pigmentierung auf, die ebenso wie das Erythem netzförmig ist.

Das Erythem während der Wärmeeinwirkung stellt einen Regulationsmechanismus des Körpers dar, da infolge der besseren Durchblutung eine Abkühlung erreicht wird. Wie Ph. Keller zeigte, wird das Wärmegefühl auf der Haut unerträglich, sobald er die Blutzirkulation durch Stauung einschränkte.

2. Die Pigmentbildung.

Die Lichtpigmentierung tritt gewöhnlich am 3. Tag nach mäßiger U.V.-Bestrahlung auf. Diese flächenhafte Verfärbung der Haut ist abhängig von der Wellenlänge des benutzten U.V.-Lichtes: bei dem mehr kurzwellige U.V.-Strahlen enthaltenden Licht der Höhensonne ist es mehr braun-gelb, bei Sonneneinwirkung rötlich-braun. Nach Jüngling soll für die Pigmentbildung eine längere Einwirkung der Strahlen um 300 μμ viel wesentlicher sein als die kurze, nach dem Erythem beurteilt, mindestens ebenso intensive Strahlung unter 300 μμ. Auch die Strahlen über 313 μμ können nach Peemöller, abweichend von den Untersuchungen von Haußer und Vahle, eine braun-rote Pigmentation hervorbringen, ohne daß ein Erythem vorausgeht.

Zunächst findet keine Pigmentneubildung statt, sondern nur eine Pigmentwanderung (Ph. Keller). Das ursprünglich nur in den Basal- und untersten Stachelzellen vorhandene Pigment wandert dem Licht entgegen in die obersten Hautschichten. „Die

Haut spannt ihren braunen Sonnenschirm auf" (H. Meyer). Erst 8—12 Tage nach der Bestrahlung findet eine Pigmentneubildung statt, die nach B. Bloch ein Oxydationsvorgang ist. Das Dioxyphenylalanin, ein dem Tyrosin nahestehendes Phenol, wird fermentativ durch die Dopaoxydase, die sich in den Basalzellen befindet, in den Farbstoff umgewandelt. Für diesen Prozeß kämen also vorwiegend die Strahlen bis 300 μμ in Frage, da sie noch mit beträchtlicher Energie bis zur Basalzellenschicht vorzudringen vermögen. Strahlen unter 300 μμ, die photochemisch wirksamen, bilden aus den Eiweißkörpern der Haut wie Histidin, Tryptophan, Tyrosin das Melanin (Frankenburger, Lieben).

Bei Einwirkung von strahlender Wärme tritt ebenfalls eine Pigmentierung auf, jedoch erst nach mehrmaligen starken Bestrahlungen. Dieses Pigment ist aber nicht gleichmäßig flächenhaft, sondern fleckig unregelmäßig, netzförmig angeordnet (Cutis marmorata). Es tritt am deutlichsten auf, wenn längere Zeit auf Stellen mit dünner Haut ein Heizkissen eingewirkt hat.

3. Ueber die Lichtgewöhnung und die Lichtempfindlichkeit der Haut.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß nach einer Vorbestrahlung die Haut nur abgeschwächt oder gar nicht auf eine erneute Bestrahlung reagiert, und zwar um so weniger, je stärker der erste Reiz war. Dieser Schutz tritt schon wenige Stunden nach der Bestrahlung auf, erreicht sein Maximum am 9. Tag und hat eine Dauer von 3—6 Wochen.

Wie nach der scharfen räumlichen Begrenzung gegenüber der nicht vorbehandelten Haut zu erwarten ist, ist der Lichtschutz eine rein lokale Reaktion der Haut. Keller zeigte, daß die Zellmembranen der Haut nach einer U.V.-Bestrahlung erheblich resistenter geworden waren und damit weniger durchlässig. Ein Maß dafür ist der Gleichstromwiderstand der Haut, der nach U.V.-Bestrahlung erheblich erhöht ist. Das Pigment ist nur unter bestimmten Bedingungen Lichtschutzmittel (Jesionek, A.), denn es liegt ja beim Europäer unter der zu schützenden Haut-

schicht und erst, wenn es ins Stratum corneum wandert, kommt es für den Lichtschutz in Betracht. Haußmann und Spiegel Adolf haben nachgewiesen, daß bestrahlte Eiweißlösungen der Haut einen gewissen Schutz gegenüber dem Licht gewähren, der also in der Haut selbst durch Denaturierung der Eiweißkörper unter der Strahlenwirkung eintreten soll. Erheblich trägt für den Lichtschutz die Verdickung der Hornzellenschicht bei. Mieschер erbrachte an histologischen Präparaten den Nachweis, daß die Hornschichtdicke der bestrahlten Hautgegend bei fortgesetzten Bestrahlungen zunimmt. Dadurch ist es fast unmöglich, an der Fußsohle mit einer Hornzellenschichtdicke von 0,26 mm ein Erythem zu erzielen. Man kann also vermuten, daß in der Natur eine Kombination dieser verschiedenen Reaktionen den Lichtschutz bewirkt. Von der Stärke der Pigmentierung auf die Stärke des Lichtschutzes zu schließen, ist völlig unmöglich (Schall und Alius), denn es kann z. B. ausgesprochener Lichtschutz auch bei sicherer Abwesenheit von Pigment (Albino) eintreten, ebenso kann bei Vitiligo die Hautreaktion an pigmentierten und depigmentierten Hautstellen gleich sein. Die Lichtempfindlichkeit der Haut hängt von Lebensalter, Geschlecht, Haarfarbe u. a. m. ab. In der Kindheit und im Alter ist sie geringer als beim Erwachsenen, am größten zwischen dem 25. und 35. Lebensjahr. Diese Altersdifferenzen entsprechen deutlich den physiologischen Veränderungen des Wachstums und der innersecretorischen Funktion der Keimdrüsen. Im Alter von 3—4 Jahren soll die geringe Strahlenempfindlichkeit der Haut mit dem starken Wachstum in diesem Alter zusammenhängen. Sie steigt während der Pubertät an und erreicht den höchsten Grad zwischen 25 und 35 Jahren, fällt also mit der stärksten Zeugungsaktivität zusammen. Darauf folgt die abnehmende Phase, die sich mit der Involution der Keimdrüsen verstärkt. Frauen in der Zeit der Geschlechtsreife sind um etwa 20% weniger lichtempfindlich als Männer, werden aber im Menstruum und während der Schwangerschaft empfindlicher als sonst. Blondhaarige Personen und da besonders die rot- und hellblonden, erwiesen sich um 40—170 % lichtempfindlicher als solche mit dunklem Haar. Doch

hat Hellblondheit nicht unbedingt den höchsten Grad der Lichtempfindlichkeit zur Folge, denn auch brünette, braun- und selbst schwarzhaarige Personen sind oft hochgradig lichtempfindlich und können auch an schweren Lichtdermatosen erkranken. Die regionären Unterschiede beim einzelnen Individuum sind im wesentlichen durch die Dicke der Hornzellenschicht (Miescher) und die Anzahl der Hautkapillaren bedingt. So kommt es, daß die Beugeseiten empfindlicher als die Streckseiten sind, die Brusthaut um 25% mehr als die des Gesichts, allgemein gesagt, daß zarte, rosige Haut empfindlicher als derbe, blasse ist. Nach Ellinger ist die Strahlenempfindlichkeit der menschlichen Haut jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Auf einen Anstieg der Empfindlichkeit im Frühjahr folgt ein Abfall im Sommer und ein erneuter Anstieg bis zum Oktober. In den Wintermonaten November—Januar besteht eine ausgeprägte Lichtempfindlichkeit. Diese Empfindlichkeitsänderung der menschlichen Haut geht ziemlich parallel mit dem wechselnden Gehalt der Sonnen- und Himmelsstrahlung an U.V., Große U.V.-Intensität im Sommer trifft auf eine Haut, die nicht übermäßig empfindlich ist und im Winter bei geringer U.V.-Intensität ist die Haut besonders empfänglich dafür.

4. Die antirachitische Lichtwirkung.

Die Rachitis läßt sich durch Lichteinwirkung heilen, und zwar kommt es dabei auf die U.V.-Strahlen an (K. Huldschinsky). Windaus und Pohl gelang es, im Ergosterin, einer Verunreinigung des Cholesterins, das „Provitamin" zu finden, welches bei U.V.-Bestrahlung Produkte von außerordentlich hoher rachitisverhütender Wirkung liefert. Die charakteristische Absorptionskurve des Ergosterins beginnt bei etwa 310 μμ, zeigt ein Maximum bei 280 μμ, ein zweites bei 270 μμ und fällt dann wieder ab (F. Holtz). Im Ultrarot zeigt es noch einen Anstieg mit dem Maximum bei 3,8 μ. Da für die Vitamin-D-Bildung hauptsächlich die kurzwelligen Strahlen in Frage kommen, die bekanntlich nur ein geringes Eindringungsvermögen besitzen, findet die Aktivierung des Ergosterins in der sehr cholesterin-

haltigen Haut statt, von wo es durch Resorption in das Körper innere gelangt.

War somit die Muttersubstanz der antirachitisch wirkenden Bestrahlungsprodukte als chemisch wohldefinierte Substanz bekannt, so blieb doch geraume Zeit die Art seiner chemischen Umwandlung beim Bestrahlungsprozeß und die Konstitution des entstehenden, antirachitisch wirkenden Stoffes ungeklärt. Ein genaues Studium ließ erkennen, daß die photochemische Umwandlung des Ergosterins nicht als ein einfacher Uebergang dieser Verbindung in einen zweiten, antirachitisch wirksamen Stoff zu deuten ist, sondern daß es sich um eine komplizierte Stufenreaktion handelt, bei der eine ganze Reihe verschiedenartiger Sterinderivate durch die Bestrahlung gebildet wird. Aus dem Ausgangsprodukt bilden sich die Zwischenprodukte Lumisterin und Tachysterin und aus diesen bei weiterer Bestrahlung das Vitamin. 1931 konnten Windaus und Mitarbeiter den antirachitisch wirkenden Faktor in kristallisiertem Zustand darstellen.

Die ultraroten Strahlen beschleunigen die Vitamin-D-Bildung durch das U.V. (Hirsch, W. und Kellner, L.). Die Absorptionskurve des Ergosterins hat ja auch im Ultrarot ein Maximum. Diese Tatsache ist wichtig für die Aktivierung des Ergosterins durch das Sonnenlicht, da 60% der Intensität desselben auf das Ultrarot fallen, andererseits das kurzwellige Spektrum nur bis etwa 290 μμ reicht, das Maximum der Absorption des Ergosterins bei 280 μμ also gar nicht erreicht wird. Ultrarot allein aktiviert nicht Ergosterin (Goldblatt, H.). Eine Nachbestrahlung mit Rotlicht zerstört das durch U.V.-Licht aktivierte Ergosterin vollständig (Ludwig und Ries).

Es ist ein weiterbreiteter Irtum, daß das häufige Vorkommen der Rachitis in den Städten auf den darüberlagernden Dunst zurückgeführt werden muß, der die U.V.-Strahlen abhalten soll. Aus Untersuchungen von Sutter geht jedoch hervor, daß die Intensitätsabschwächung des U.V. im Zentrum einer Großstadt nur 10—15% gegenüber einem Außenbezirk beträgt. Denn als Quelle der U.V.-Strahlung kommt nicht nur das direkte Sonnen-

licht in Frage, sondern auch das von den kleinen Dunstpartikelchen der Atmosphäre gestreute Licht, wobei gerade das U.V.-Licht etwa hundertmal mehr gestreut wird als das langwelligere, rote Licht. Durch diese „Himmelsstrahlung" geschieht also ein gewisser Ausgleich für die Abschwächung der direkten Sonnenstrahlung. Viel mehr als der Stadtdunst begünstigt die Rachitisentstehung die unzweckmäßige Bauweise unserer Städte. Denn aus den Untersuchungen von Sutter geht hervor, daß nur 10 % der auf dem Dache des Hauses gemessenen U.V.-Strahlung auch auf dem Hof desselben Gebäudes gemessen wurden und selbst im dritten Stock eines Berliner Hauses betrug die U.V.-Strahlung nur noch 30 % der auf dem Dach gemessenen. Die Tatsache des gehäuften Auftretens der Rachitis in der Stadt ist also mehr ein soziales Problem als ein Problem des Strahlungsklimas.

5. Wirkungen des Lichts auf das Auge.

Die Hornhaut hält Licht unter 300 μμ vollkommen zurück (Hertel, Schanz und Stockhausen). Bakterien, die Hertel in die vordere Augenkammer brachte, blieben bei Bestrahlungen mit 280 μμ und 232 μμ unversehrt, während die Hornhaut selbst geschädigt wurde. Auch nach Birch-Hirschfeld wird Licht unter 306 μμ Wellenlänge von sämtlichen tierischen Hornhäuten absorbiert, kann also gar nicht in den Bulbus gelangen. Die Absorption der Linse beginnt bei 400 μμ und ist bei 350 μμ vollständig.

Widmark erkannte als erster die Schädigungen des Auges durch die U.V.-Strahlen. Er stellte Veränderungen des vorderen Linsenepithels fest, Schanz und Stockhausen des Linsenstromas. Diese glaubten, den grauen Star auf die schädigende Wirkung der U.V.-Strahlen zurückführen zu können. Birch-Hirschfeld untersuchte den Einfluß der U.V.-Strahlen auf die Netzhaut. Er fand Veränderungen nur nach stärkster Einwirkung reinen U.V.-Lichts und nur nach Entfernung der Linse. Durch schwaches U.V.-Licht konnte er weder am vorderen Bulbusabschnitt noch am Augenhintergrund pathologische Veränderungen an Augen mit und ohne Linse feststellen. Das sicht-

bare Licht macht hauptsächlich Gefäßveränderungen in den äußeren Netzhautschichten und der Aderhaut, die sich im Verlauf der Beobachtung wieder zurückbildeten. Wärmestrahlen gelangen nach den Versuchen Tyndalls durch die normalen Augenmedien bis zur Netzhaut und verursachen dort weder Licht- noch Wärmegefühl. Strahlen von 1000—1500 μμ werden von den Augenmedien stark absorbiert. Es folgen Kammerwasser- und Linsentrübungen, Depigmentation der Iris und Lähmung des Sphinkter pupillae. Vogt erzielte durch ultrarote Strahlen einen Totalstar beim Kaninchen und macht für die Starbildung beim Feuerarbeiter (Glasbläser, Schweißer) Strahlen dieser Wellenlänge verantwortlich.

6. Einfluß des Lichts auf Bakterien.

Downes und Blunt zeigten schon 1877, daß die bakterizide Wirkung des Sonnenlichts nicht auf den Wärmestrahlen beruht, die ja, wenn ihre Intensität nur genügend groß ist, allein durch Erwärmung die Bakterien abtöten können. Am wirksamsten waren vielmehr die stark brechbaren Strahlen. Viele Untersucher haben sich nun mit der Frage beschäftigt, inwieweit die bakterizide Fähigkeit des Lichtes an bestimmte Spektralgebiete gebunden ist. Busck, G., fand 1904, daß sowohl ultraviolette wie jede andere monochromatische Strahlenart imstande ist, Bakterien zu töten, wenn nur ihre Intensität genügend groß ist. Die Wirkung steigert sich aber im großen und ganzen mit dem Brechungsexponenten der Strahlen. Bie behauptete, daß die Wirkung des U.V. zwischen 200 und 295 μμ ungefähr 10—12mal so groß sei wie die Wirkung des gesamten übrigen Spektrums von rot bis zum Beginn des erwähnten Abschnitts. Nach Ehrismann und Noethling beginnt der bakterizide Einfluß bei 313 μμ, steigert sich bis 265 μμ und nimmt dann wieder ab. Da dieses Wirkungsspektrum nur ein geringes Eindringungsvermögen besitzt, kann sich die bakterizide Lichtwirkung nur auf ganz dünne Schichten erstrecken. Diese Wirkungskurve des Lichtes ist für die verschiedenen Bakterienarten gleich, doch ist die Zeit der Einwirkung verschieden, weil die Empfindlichkeit der Bakterien verschieden

ist. Nach Larsen schwankt die Belichtungszeit, die zur Abtötung nötig war, zwischen 45 Minuten (Bact. coli) und 15 Min. (Bac. Pyocyaneus). Cholera- und Typhuskeime werden in strömendem Wasser innerhalb von einer Minute getötet. Milzbrandsporen werden in 27 Minuten, Milzbrandbazillen in 8½ Minuten abgetötet (Jansen). Pockenlymphe wird durch eine kurze Bestrahlung mit Quarzlicht avirulent. Dieselbe Wirkung hatte Sonnenlicht in 3 Stunden (Linden und Schwarz). Nach Winterstein sind junge Kulturen empfindlicher als ältere. Zur Wachstumshemmung genügen schon kleinere Strahlenmengen, zur Abtötung aber solch große, daß sie auf der Haut eine schwere Verbrennung erzeugen. Nach Beimpfung der Haut mit Staphylo- und Streptokokken kann man mit Dosen, die auf Händen und Vorderarm noch ertragen werden, Keimverminderung erzielen. Dagegen läßt sicht in Wunden mit praktisch anwend baren Dosen nie eine Keimvernichtung oder eine weitgehende Keimverminderung erreichen. Erst eine Steigerung auf das 15-fache der Erythemdosis erzeugt Keimfreiheit. Es ist also eine bakterizide Lichtwirkung nur in den oberflächlichsten Hautschichten möglich.

D. Indirekte Lichtwirkungen.

1. Wirkungen auf das Blut.

Das Blut hat eine hohe Absorptionsfähigkeit für das U.V.-Licht. Nach v. Schubert werden besonders die Strahlen von den Wellenlängen unter 302 μμ, also die erythemwirksamen, stark absorbiert, wobei den Blutkörperchen eine weitaus größere Absorptionskraft zuzuschreiben ist als dem Serum. Innerhalb der Erythrozyten sind es wieder die Lipoide, die nach Kollath und Suhrmann das U.V.-Licht am stärksten absorbieren. Diese starke Absorption läßt auf eine starke Wirksamkeit im Blut schließen. Die Erythrozytenzahl nimmt nach einer Bestrahlung mit U.V.-Licht zu. Teploff und Mescheritskaja fanden als Ausdruck der gesteigerten Erythropoese eine Vermehrung der Retikulozyten im strömenden Blut. Hansen sah eine Steigerung des Haemoglobingehaltes um 7 %. Im weißen Blutbild nehmen die Leukozyten nach einer Bestrahlung mit langwelligen U.V.-Strahlen ab, mit kurzwelligen zu, vor allem die Polymorphkernigen und die Lymphozyten, was wohl auf die Bildung histaminähnlicher Körper beruht. Das Maximum ist in 4—5 Stunden erreicht. Auch nach Küstner wird das weiße Blutbild durch die Art des einwirkenden Lichts beeinflußt. Er fand schon nach einmaliger Rotlichtbestrahlung eine Vermehrung der Lmphozyten in 50 % der Fälle. Erfolgte am nächsten Tag eine erneute Rotbestrahlung, so trat eine weitere Vermehrung ein, während die Monozyten schnell abnahmen. Wenn er mit Blaulicht bestrahlte, trat dagegen eine Leukozytose auf, während die Lymphozyten verschwanden.

Seyderhelm fand im mit U.V.-Licht bestrahlten Blut einen Stoff, der Erythrozyten aus dem Knochenmark auszu-

schwemmen vermag. Diese Substanz kommt in aktiver Form nur in kleiner Menge vor. Die inaktive wird aber durch U.V.-Licht in die aktive übergeführt und verhindert die Anämie durch Saponine. Die Resistenz der Erythrozyten wird durch die U.V.-Strahlen der Sonne erhöht (Lepeschkin). Diese Wirkung ist noch 24 Stunden nach der Bestrahlung nachweisbar. Filtert man die U.V.-Strahlen aus dem Sonnenlicht heraus, so tritt eine Resistenzerniedrigung ein. Die Blutplättchen steigen sowohl nach Sonnen- wie nach alleiniger U.V.-Bestrahlung an.

Im sichtbaren Gebiet tritt die Lichtabsorption der Erythrozyten weit zurück gegenüber dem außerordentlich hohen Wert im U.V. Im roten ist bei geringer Schichtdicke kaum eine Absorption festzustellen. Daher vermag die langwellige Strahlung tief in den Organismus einzudringen.

Die bakterizide Wirkung des Blutes bleibt durch sichtbares und ultrarotes Licht unbeeinflußt, während sie auf langwelliges U.V.-Licht ansteigt, auf kurzwelliges abfällt. Mit U.V.-Licht bestrahlte Meerschweinchen ertrugen eingespritztes Diphtherietoxin besser als unbestrahlte Kontrolltiere. — Interessant ist, daß die Wassermann-Reaktion bei gegen Salvarsan resistenten Fällen von Lues durch U.V.-Bestrahlung negativ gemacht werden kann (Rajka und Radnay). Der Calcium- und Phosphorgehalt des Blutes steigt unter U.V.-Bestrahlung an, überschreitet aber nie die normale Grenze (Sonne). Das Verhältnis Ca : K verschiebt sich zugunsten des Calciums (Pincussen). Die Senkungsgeschwindigkeit ist nicht verändert (Wellisch). Durch Licht wird das Blut haemolysiert, und zwar ist das Maximum der Wirkung bei 240 μμ (Sonne), da aber von dieser Wellenlänge höchstens 8% bis zu den Kapillaren der menschlichen Haut gelangen kann, besitzt dieser Prozeß keine praktische Bedeutung, ist aber an der Zunahme des Urobilinogens in den Faeces erkennbar. Eine Vermehrung der körperlichen Elemente tritt auch bei Zufuhr strahlender Wärme ein. Dies ist aber wohl auf den Wasserverlust zurückzuführen, wofür die Zunahme der Viskosität des Blutes spricht.

2. Einfluß auf den Kreislauf.

Nach Bestrahlung mit Sonnenlicht tritt eine Blutdrucksenkung ein, die wohl auf die in der Haut entstehenden histaminähnlichen Körper zurückzuführen ist. Belak und Uhrowits fanden nach einer U.V.-Bestrahlung von 20 Sek. Dauer bei gesunden Männern im Alter von 20—40 Jahren eine Blutdrucksteigerung, der eine initiale Senkung vorausging. Wenn nach Abschluß der Blutdruckschwankung eine zweite Bestrahlung nachfolgte, so trat nur eine Steigerung ein. Wurde dagegen die Bestrahlung während der anfänglichen Senkung ausgeführt, so trat ein weiterer Abfall des Blutdrucks ein. Der zur Zeit der Belichtung vorherrschende Sympathicus- bzw. Parasympathikustonus wurde also durch die U.V.-Bestrahlung verstärkt. Königsfeld fand den Blutdruck um 2—8 mm herabgesetzt, nach Hasselbach sank im Laufe der Bestrahlung der Blutdruck um 8%.

3. Atmung — Grundumsatz — Körpertemperatur.

Die morgendliche Atemfrequenz wird durch Kohlenlichtbestrahlung herabgesetzt (Hasselbach). Dementsprechend war die Tiefe der einzelnen Atemzüge vergrößert. Diese Wirkung hielt mehrere Tage an und war noch nach Abklingen des Erythems festzustellen. Auch Lehmann und Szakall konnten dieselbe Beobachtung machen. Diese beobachteten auch nach einer kurzdauernden Bestrahlung mit dem Auftreten des Erythems eine Grundumsatzsteigerung, die bis zu 22 Stunden anhielt. Dagegen wurde durch eine langdauernde Bestrahlung der Grundumsatz um 10—15% gesenkt, während der respiratorische Quotient auf einen Wert von über 1,0 anstieg, was auf eine vermehrte Verbrennung von Kohlehydraten hindeutet. Die Körpertemperatur wird durch mäßige U.V.-Belichtung im allgemeinen nicht beeinflußt (Bach), dagegen kann Ueberdosierung beträchtliches Fieber erzeugen, das als Eiweißabbaufieber zu werten wäre.

4. Einfluß auf den Stoffwechsel.

Der Eiweißumsatz ist unter dem Einfluß der Bestrahlung gesteigert, da das zerfallende Zelleiweiß schnell abgebaut wird

(Königsfeld). Besonders stark koagulieren Strahlen von 260—254 μμ Eiweiß. Dabei gelangen Eiweißkörper und Abbaustoffe in den Kreislauf, so daß dadurch eine indirekte Beeinflussung des Stoffwechsels stattfindet und ähnliche Erscheinungen wie bei der Eiweißkörperreiztherapie hervorgerufen werden. Die Stickstoff-, Schwefel- und Phosphorausscheidung ist daher nach Bestrahlungen vermehrt. Der Reststickstoff ist in der Regel vermindert. Außerdem findet man im Blut mehr Aminosäuren und weniger Phenolkörper (Pincussen).

Beim Purinstoffwechsel fand Pincussen eine Abnahme der Harnsäureausscheidung, während die der Oxalsäure anstieg. Das Serum bestrahlter Tiere soll die Nukleinsäure schneller abbauen als das unbestrahlter Tiere.

Der Kohlehydratstoffwechsel gesunder Menschen wird durch die U.V.-Strahlen nicht beeinflußt (Lippmann und Völker). Dagegen wird der erhöhte Blutzuckerspiegel gesenkt (Kallos und Kallos-Deffner). Nach Pincussen wird mehr Glykogen in den Organen gespeichert. Dieselbe Wirkung soll auch durch natürliches Sonnenlicht eintreten, indem mehr Insulin produziert wird (Deschwanden). Rothmann fand nach einer Bestrahlung mit einer Quecksilberdampflampe zunächst eine Abnahme des Blutzuckers, die bis zu 50|% des Ausgangswertes betragen konnte, dann aber ein Wiederansteigen.

Durch strahlende Wärme wird der Stoffwechsel, solange es zu keiner Temperaturerhöhung kommt, nicht beeinflußt (Guthmann). Dagegen werden die Oxydationsvorgänge stark erhöht, sobald es zu einer Temperatursteigerung oder gar Wärmestauung kommt.

5. Weitere indirekte Lichtwirkungen.

Goethe spricht in seiner Farbenlehre von der erregenden Wirkung des Rot und der beruhigenden des Blau. Finsen sah in der Fähigkeit des Lichts, Bewegungen an Lebewesen hervorzurufen, einen Einfluß auf das Nervensystem. Bei niederen Tieren stellte er eine auffallende Steigerung der Reflexerregbarkeit und der Bewegungsantriebe fest, die besonders durch die u.v. und

violetten Strahlen hervorgerufen wird, während grüne und rote Strahlen weit weniger wirksam sind. Diese „leben- und energieweckende Eigenschaft" des Lichts ist im gleichmäßigen Tageslicht unmerklich, wird aber sofort deutlich, wenn an einem Regentag plötzlich die Sonne durchbricht. Die Reizschwelle wird am sensiblen Hautnerven durch U.V.-Licht herabgesetzt (Achelis und Rothe). Diese bestrahlten das Innervationsgebiet des N. cutaneus antebrachii lateralis und stellten fest, daß die Stromstärke, die bei einer Reizung eine Empfindung auslöste, in der Latenzzeit größer war als vor der Bestrahlung. Die Erregbarkeit des peripheren Nerven war also durch die Belichtung geringer geworden. Diese Tonusherabsetzung dauerte bis zum Auftreten des Erythems an, um dann wieder zur Norm anzusteigen. Interessant ist, daß sich nur ein schwaches Erythem bildet, wenn man die peripheren sensiblen Nerven durchschneidet oder durch Novokain ausschaltet (Rothmann). Auf das autonome Nervensystem soll Rotlicht eine vagotonische Wirkung haben, blau eine sympathikotonische.

Auf die Drüsen mit innerer Sekretion hat die Lichtbestrahlung der Haut einen großen Einfluß. Bergfeld zog Ratten im Dunkeln auf und untersuchte dann die Schilddrüse. Er fand wenig Kolloid, vermehrte Follikel, unruhiges, erhöhtes Epithel, eine „Parenchymunruhe'. Wenn er nun diese Dunkeltiere mit U.V.-Licht bestrahlte, so füllten sich die Follikel wieder normal mit Kolloid. Dieselbe Wirkung erzielte er auch durch Einspritzung von Hautextrakt bestrahlter Ratten. Denselben funktionssteigernden Einfluß des U.V.-Lichts stellte auch Rosenkranz bei der Schilddrüse von Rindern und Kaninchen fest. Rotlicht soll dagegen keinen Einfluß haben (Küster). Umgekehrt wie bei der Schilddrüse wirkt sich der Einfluß der U.V.-Bestrahlung dagegen bei der Nebenschilddrüse aus. Durch Lichtentziehung kommt es hier zu einer Hyperplasie, die sich durch nachfolgende U.V.-Belichtung zurückbildet. Bücking beobachtete Tetaniefälle, die durch Besonnung ausgelöst wurden. Aber auch die Ovarialfunktion wird durch U.V.-Bestrahlung beeinflußt: die Menses treten früher, bzw. wieder ein, Menstruationsbeschwerden werden gelindert (Wellisch). Rotlicht soll die Corpus-luteum-

Bildung verstärken, außerdem eine vermehrte Ausschüttung des Brunsthormones bewirken. Unter U.V.-Belichtung nimmt sowohl die motorische wie die sekretorische Tätigkeit des Magens zu, wahrscheinlich durch die Wirkung histaminähnlicher Substanzen. Die Acidität des Magensaftes nimmt zu. Dementsprechend gelang es Kauffmann, mit U.V.-Strahlen beim Hunde eine Gastritis zu erzeugen. Beim Menschen beobachtet man bei Ueberdosierung einen schweren Reizzustand des Magens. Wärmestrahlen sollen dagegen die Magensekretion herabsetzen, und eine Achylie hervorrufen (Borchard). Einen großen indirekten Einfluß muß man den ultraroten Strahlen zuschreiben. Ruhmann beobachtete den Magen im Röntgenbild, während er die Bauchhaut mit ultrarotem Licht bestrahlte. Wenige Sekunden darnach sah er eine Zunahme der Peristaltik und des Tonus der Magenmuskulatur, die wahrscheinlich durch einen sensorisch-visceralen Reflex von der Haut auf die zugehörigen Eingeweide bewirkt wurde. Denn dieser Vorgang ließ sich nur von den Dorsalsegmenten 10, 11, 12 auslösen und blieb nach einer paravertebralen Wurzelunterbrechung aus. Während des Erythems ist auch eine Steigerung der Nierenabsonderung zu beobachten, für die wahrscheinlich die Stoffwechselsteigerung verantwortlich zu machen ist. Durch U.V.-Bestrahlung stillender Mütter versuchte man die Ergiebigkeit der Brust und die antirachitische Wirksamkeit der Milch zu steigern (Vogt). doch konnte weder auf die Quantität noch auf die Qualität der Milch ein Einfluß festgestellt werden. Die der Sommermilch der Kühe eigentümlichen Eigenschaften kommen also nicht durch Lichteinfluß, sondern wohl hauptsächlich durch das Grünfutter zustande. Eine große Bedeutung kommt dagegen der Bestrahlung während der Schwangerschaft zu. So wiesen Nachkommen von völlig im Dunklen gehaltenen Kaninchen einen um 23% geringeren Aschengehalt auf und waren hinfälliger als andere Tiere (Aisikowitsch). Kinder, deren Mütter in den letzten Schwangerschaftsmonaten bestrahlt worden waren, zeigten ein um durchschnittlich 155 g höheres Geburtsgewicht und eine um 0,6 cm größere Körperlänge als die Nachkommenschaft unbestrahlter Mütter. Ebenso pflegen die

Sommerkinder länger und schwerer zu sein als die Winterkinder (Freund und K. Schmidt). Bei ausschließlicher Rotlichtbestrahlung wuchsen junge Tiere schneller, gingen aber infolge Vitaminmangels ein (Ludwig und von Ries).

E. Theorien der Strahlenwirkung.

Der Angriffspunkt der Strahlung am lebenden Objekt ist die Zelle, die zwar biologisch eine Einheit darstellt, physikalisch und chemisch dagegen aus den verschiedensten Stoffen aufgebaut ist. Diese verschiedenen Baustoffe der Zelle haben je nach ihrer molekularen Struktur verschiedene Absorptionsspektren, d. h. manche Wellenlängen werden mehr, manche weniger, manche garnicht absorbiert. Nur die Strahlung ist aber nach dem Grotthus-Draperschen Grundgesetz wirksam, die absorbiert wird. Diese Absorption der strahlenden Energie bewirkt eine Energieanreicherung des Moleküls, die, wenn genügend groß, zum Zerplatzen desselben führen kann. Die Bruchstücke, die bei einem solchen Vorgang entstehen, sind nun chemisch äußerst reaktionsfähig und können bei Anwesenheit geeigneter Partner neue Verbindungen und weitere Veränderungen eingehen. Durch diese quantenhafte Absorption der Strahlung werden also die energiereichen Atome und Moleküle der Zelle in einen Anregungszustand versetzt, der sie zu Reaktionen befähigt, die sonst bei gewöhnlichen Bedingungen nicht oder viel langsamer stattfinden würden. Für diese photochemische Theorie von Holthusen spricht die Wellenlängenunabhängigkeit der Strahlenwirkung. Sobald der für die Anregung der betreffenden Reaktion erforderliche Energiebetrag zugeführt ist, wird diese ausgelöst und nur die spezifische Absorption in den verschiedenen Körperstoffen ist der Grund für die anscheinend spezifische Wirkung bestimmter Wellenlängen. Eine andere Theorie stellte Dessauer auf. Nach ihm wird die absorbierte Energie unspezifisch umgewandelt. Erregte Atome stoßen mit nicht angeregten zusammen und übermitteln ihre Energie dem nächsten Nachbarn. Die Erregungsenergie wird in Wärme umgewandelt, in Teilen eines Moleküls entstehen punkt-

förmige Temperaturerhöhungen, die die verschiedenen Wirkungen hervorbringen (Punktwärmetheorie). Nach dieser Theorie müßte also die Wirkung der Strahlen von der mehr oder weniger großen Beschleunigung der Elektronen abhängen, demnach von der Wellenlänge. Schließlich könnte man noch an die Möglichkeit denken, daß durch den ionisierenden Einfluß des Lichts die Kolloide des lebenden Organismus ihren Ladungszustand und damit ihren Dispersionsgrad ändern. Eine Entscheidung für die eine oder die andere Theorie konnte bisher nicht getroffen werden. Bei der Mannigfaltigkeit der Strahlenwirkungen im biologischen Geschehen ist es wohl warscheinlich, daß je nach den Umständen der eine oder der andere Primärvorgang stattfindet oder aber mehrere zusammen.

F. Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluß des Lichts, umfassend die Wellenlängen 296 μμ—50,0 μ, auf das biologische Geschehen beschrieben. Von den zahlreichen in der Literatur angegebenen Wirkungen seien kurz folgende zusammengestellt:

1. Erythembildung: a) Die Lichterythembildung komt vorwiegend dem Wellenbereich um 300 μμ zu und beruht auf der Freisetzung und Neubildung histaminähnlicher Substanzen in der Haut.

b) Das Wärmeerythem entsteht durch Einwirkung von Strahlen über 760 μμ und unterscheidet sich durch sein sofortiges Auftreten, die Flüchtigkeit seiner Erscheinungen und durch die fehlende nachfolgende Pigmentierung von dem vorigen.

2. Pigmentbildung: Etwa drei Tage nach dem Lichterythem folgt die Pigmentierung, die zunächst nur auf Pigmentwanderung, erst später auch auf Pigmentneubildung beruht.

3. Lichtgewöhnung: In der Pigmentwanderung und der Hornzellenschichtverdickung sehen wir die wesentlichen Ursachen der wichtigen Lichtgewöhnung der Haut. Die Lichtempfindlichkeit hängt ab vom Alter, Haar- und Hautfarbe, Jahreszeit und ist beim einzelnen Individuum durch die Dicke der Hornzellenschicht und die Anzahl der Hautkapillaren bedingt.

4. Antirachitische Wirkung: Das in der Haut vorkommende Ergosterin wird durch die U.V.-Bestrahlung in einer komplizierten Stufenreaktion aktiviert und erhält dadurch typisch antirachitisch wirkende Eigenschaften. Das gehäufte Vorkommen der Rachitis in den Städten hängt mehr von den sozialen Umständen als vom Strahlungsklima ab.

5. Wirkung auf das Auge: Das U.V.-Licht kann im wesentlichen nur auf Lider und Konjunktiva einwirken. Sicht-

bares Licht und ultrarote Strahlen wirken infolge ihres größeren Eindringungsvermögens auch auf Linse und Netzhaut.

6. Bakterizide Wirkung: Nur oberflächlich liegende Bakterien können durch UV.-Licht abgetötet werden. Tiefer gelegene Keime sind für diese Strahlen nicht erreichbar.

7. Wirkung auf das Blut: Erythrozyten und Haemoglobin erfahren, wenn die Werte herabgesetzt waren, eine Steigerung. Während des Erythems ist eine Leukozytenvermehrung festzustellen. Die Thrombozytenzahl und damit die Gerinnungsfähigkeit steigt ebenfalls an. Durch die in der Haut entstehenden histaminähnlichen Körper tritt eine Blutdrucksenkung ein.

8. Wirkung auf den Stoffwechsel: Der Eiweißstoffwechsel ist gesteigert, was sich in der erhöhten Ausscheidung von Stickstoff, Schwefel und Phosphor zeigt. Der Reststickstoff ist in der Regel vermindert. Der Kohlehydratstoffwechsel zeigt eine Tendenz zu erhöhter Glykogenspeicherung. Der normale Blutzucker wird nicht verändert, dagegen sinkt der krankhaft erhöhte.

9. Weitere Wirkungen, vor allem im Sinne einer Funktionssteigerung, sind auf die Drüsen mit innerer Sekretion, Magen, Nerven, Nachkommenschaft usw. festgestellt worden.

Zum Schluß gestatte ich mir, Herrn Prof. Dr. Voltz für die Ueberlassung des Themas und Herrn Prof. Dr. H. Eymer für die Uebernahme des Referates meinen ergebenen Dank auszusprechen.

Literatur.

Achelis I. D. und Rothe H.: Einfluß der Hautbestrahlung mit ultraviolettem Licht auf den sensiblen Nerven. Pflügers Archiv 218 / 427 / 1927.

Aisikowitsch E. A.: Ueber den Einfluß der Dunkelheit, des Lichts und der Quarzquecksilberlampenbestrahlung auf die Nachkommenschaft bei den Tieren. Zeitschr. ges. physikal. Therapie 40 / 153 / 1931.

Adams, Barnes, Forsythe: Ueber die Erythemwirksamkeit des ultravioletten Lichts. Strahlentherapie 48 / 235 / 1933.

Bach, H.: Bestrahlung mit Quarzlampe „Künstliche Höhensonne". Leipzig 1931.

Bachem A.: Die Lichtdurchdringung der Menschenhaut. Strahlentherapie 1931 / 39.

Bélak S. und Uhrowits A.: Ueber die Wirkung der Bestrahlung auf den Blutdruck. Strahlentherapie 52 / 1935.

Bergfeld W.: Ueber die Einwirkung des ultravioletten Sonnen- und Himmelslichtes auf die Rattenschilddrüse mit Berücksichtigung des Grundumsatzes. Strahlentherapie 39 / 245 / 1931.

Birch-Hirschfeld: Ergebnisse der Pathologie des Auges. 1910 bis 1913.

Bloch B.: Das Problem der Pigmentbildung in der Haut. Arch. f. Dermatol. u. Syphilis 124 / 1917.

Borchard W.: Magenfunktionsprüfung im künstlichen Tropenklima. Klin. Wschr. 886 / 1930.

Brummer K.: Ueber einen Fall gleichartiger Wirkungen von ultravioletten und Röntgenstrahlen. Strahlentherapie 36 / 716 / 1930.

Bücking W.: Manifeste Tetanie als Insolationsfolge. Dtsch. med. Wschr. 1705 / 1931.

Busck G.: Mitteilungen aus Finsens Lichtinstitut. H. 8 / 1904.

Christen: Ersatz für Sonnenlicht. Dtsch. med. Wschr. 50 / 1911.

Coblentz W. W.: Ueber die Quellen der thermischen Strahlen und ihre Eigenschaften, besonders über die ultravioletten Strahlen in der Lichttherapie. Ztschr. f. d. ges. physik. Therapie Bd. 35 H. 3 / 75.

Cramer H. und Fechner G.: Hautuntersuchungen und klinische Ergebnisse bei der Anwendung von sichtbarem, kaltem Rotlicht. Klin. Wschr. 2442 / 1930.

Deschwanden J. v.: Wirkung der Höhe und der Bestrahlung mit natürlicher Höhensonne auf den Kohlehydratgehalt der Leber und der Muskeln. St. Th. 46 / 713 / 1933.

Dessauer F.: Strahlung und Lebensvorgänge. Ztschr. Krebsforschung 35 / 287 / 1932.

Dreyer G. und Jansen H.: Ueber den Einfluß des Lichts auf tierisches Gewebe. Finsens Mitteilungen 9 / 180 / 1905.

Ellinger F.: Die biologischen Grundlagen der Strahlenbehandlung. Berlin, Wien 1935.

— Ueber die Entstehung eines den Blutdruck senkenden Stoffes aus Histidin durch Ultraviolettbestrahlung. Arch. experim. Path. Pharmakologie 136 / 129 / 1928.

Ehrismann O. und Noethling W.: Ueber die bakterizide Wirkung monochromatischen Lichts. Ztschr. Hygiene 113 / 597 / 1932.

Finsen N. R.: Ueber die Bedeutung der chemischen Strahlen des Lichts für Medizin und Biologie. Leipzig 1899.

Frankenburger W. und Zimmermann W.: Photochemische Betrachtungen zur Wirkung ultravioletter Strahlen auf die menschliche Haut. Naturwissensch. 1933 / 116.

Freund W. und Schmidt K.: Einfluß der Bestrahlung Schwangerer auf die Konstitution Neugeborener. Ztschr. Kinderheilk. 43 / 424 / 1929.

Glocker R.: Die physikalischen Grundlagen der Strahlenbiologie. Strahlentherapie 48 / 1 / 1933.

Goldblatt H.: Die neuere Richtung der experimentellen Rachitisforschung. Erg. allg. Path. u. path. Anatomie 25 / 58 / 1931.

Guthmann H.: Physikalische Grundlagen der Lichttherapie. Berlin 1927.

— Physikalische Heilmethoden (aus Biologie und Pathologie des Weibes von Halban-Seitz). Berlin 1927.

Hausmann W. und Volk R.: Handbuch der Lichttherapie. Wien 1927.

Hausmann W. und Spiegel A. M.: Lichtschutz durch vorbestrahlte Eiweißlösungen. Klin. Wschr. 6 / 2182 / 1927.

Hausmann W.: Die Allgemeinwirkungen des Lichts. Str. Th. 28 / 81 / 1928.

Hansen A.: Einwirkung der Kohlebogenlichtbäder auf das Blut. Str. Th. 7 / 105 / 1916.

Hirsch W. und Kellner L.: Die Bedeutung des ultraroten Strahlenbereichs für den Rachitisschutzstoff. Str. Th. 41 / 232 / 1931.

Hasselbach K. A.: Chemische und biologische Wirkung der Lichtstrahlen. Str. Th. 2 / 403 / 1913.

Hofmann W.: Ueber die Wirkungen des sichtbaren Lichts, der ultraroten und ultravioletten Strahlen auf das Auge. Str. Th. 39 / 93 / 1930.

Holthusen H. und Zweifel C.: Einfluß der Quantengröße auf die biologische Wirkung verschiedener Strahlenqualitäten. Str. Th. 43 / 249 / 1932.

Holtz F.: Die Photoaktivierung des Ergosterins. Str. Th. 28 / 108 / 1928.

Jansen H.: Ueber die Widerstandsfähigkeit der Bakteriensporen gegenüber dem Licht. Finsens Mitteilungen 4 / 127 / 1903.

Jesionek A.: Biologie der gesunden und kranken Haut. Leipzig 1916.

— Davos. Str. Th. 39 / 1 / 1930.

Jüngling O.: Vergleichende Untersuchungen über die Wirkung des Sonnenlichts und des Lichts der Quecksilberquarzlampe auf die Haut. Str. Th. 7 / 411 / 1916.

Kallos P. und Kallos-Deffner L.: Die Wirkung des Ultraviolett-Lichtes auf den Kohlehydratstoffwechsel. Str. Th. 50 / 191 / 1934.

Kauffmann F.: Experimentelles zur Geschwürsfrage. Dtsch. med. Wschr. 42 / 1929.

Keller Ph.: Die lichtbiologischen Grundlagen einer Ultraviolettdosimetrie. Strahlentherapie 34 / 1929.

— Pigment und Lichtschutz. Ergebn. med. Strahlenforschung 4 / 233 / 1930.

— Ueber die Wirkungen des Ultraviolettlichts auf die Haut. Str. Th. 28 / 152 / 1928.

Keller Ph. und Rost G. A.: Die Wirkungen des Lichts auf die gesunde und kranke Haut. Handbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten von Jaddassohn. Bd. 5 Berlin Springer 1929.

Küster H.: Die physikalischen Grundlagen und die klinischen Erfahrungen mit der Rotlichttherapie. Str. Th. 47 / 759 / 1933.

Küstner H. und Dreyer G. und Siede W.: Veränderungen des weißen Blutbilds durch Strahlen verschiedener Wellenlängen. Münchn. med. Wschr. 1 / 1932.

Larsen: Haben die verschiedenen Bakterienarten dieselbe Widerstandskraft dem Licht gegenüber? Finsens Mitteilungen 1 / 1900.

Lehmann G. und Szakall A.: Der Einfluß der Ultraviolettbestrahlung auf den Arbeitsstoffwechsel und die Arbeitsfähigkeit des Menschen. Arbeitsphysiologie 5 / 278 / 1932.

Lepeschkin W. W.: Ueber den Einfluß des Sonnenlichts auf die roten Blutkörperchen in vivo. Str. Th. 51 / 1934.

Linden H. und Schwarz F. K.: Ueber den Einfluß von Quarzlampen- und Sonnenlicht auf das Vakzinevirus. Zbl. Bakteriologie 1 / 122 / 1931.

Lippmann A. und Völker H.: Beiträge zur Frage der Stoffwechselbeeinflussung durch Ultraviolettbestrahlung. Klin. Wschr. 5 / 213 / 1928.

Lieben F.: Zerstörung einiger Aminosäuren durch Belichtung. Biochem. Zschr. 134 / 453 / 1927.
Lomholt S.: Zur Bestimmung des wirksamen Strahlengebiets bei der Finsenbehandlung, Acta Radiologica 98 / 1936.
Ludwig F. und Ries v. J.: Die biologische Bedeutung der Rot- und Quarzlichtbestrahlung. Str. Th. 29 / 581 / 1928.
— Rot als Antagonist. St. Th. 32 / 581 / 1928.
— Ueber den Einfluß der Rot- und Blaustrahlen auf das Wachstum. St. Th. 39 / 485 / 1931.
Memmesheimer A. und Matthaei R.: Beobachtungen über die Pigmentierung der Haut. Str. Th. 35 / 340 / 1930.
Meyer H. und Kirchhoff H.: Zum Problem des Lichtschutzes der Haut. D. med. Wschr. 1 / 1932.
Miescher G.: Die Schutzfunktion der Haut gegenüber den Lichtstrahlen. Str. Th. 39 / 601 / 1931.
Peemöller F.: Die physiologische Bedeutung des Pigments. Str. Th. 28 / 168 / 1928.
Pincussen L.: Stoffwechselwirkungen des Lichts. Klin. Wschr. 1865 / 1931.
— Untersuchungen über die Wirkung von Art und Menge des Lichts auf den Stoffwechsel des Schweins. Str. Th. 45 / 401 / 1932.
— Licht und Stoffwechsel. Str. Th. 28 / 103 / 1928.
— Veränderungen des Kohlehydratstoffwechsels. Biochem. Zschr. 208 / 185 / 1929.
— Der Einfluß der Qualität und Quantität zugestrahlten Lichts auf Veränderungen des Stoffwechselns. Dtsch. med. Wschr. 2 / 1932.
Rothmann St.: Die Beeinflussung der Lichtentzündung und der Pigmentierung durch Novokain. Str. Th. 22 / 729 / 1926.
— Erhöhung der Zuckertoleranz durch Lichtbäder. Klin. Wschr. 43 / 1959 / 1924.
Rosenkranz G.: Einfluß des ultravioletten Sonnen- und Himmelslichts auf die Schilddrüse der Kaninchen und Rinder. Klin. Wschr. 22/ 1022 / 1931.
Schall L.: Untersuchungen über den Ablauf des Lichterythems. Str. Th. 28 / 164 / 1928.
Schall L. und Alius J.: Zur Biologie des Ultravioletlichts. Str. Th. 27 / 769 / 1928.
Seyderhelm, R.: Ueber einen durch Ultraviolettbestrahlung aktivierbaren, antianämisch wirkenden Stoff im Blut. Klin. Wschr. 1 / 1932.
Sonne C.: Wirkung ultravioletter Strahlen auf die experimentelle Rachitis. Arch. physik. Therapie 10 / 239 / 1929.
Sutter E.: Einfluß des Großstadtdunstes auf das Strahlungsklima. Str. Th. 34 / 660 / 1929.

Teploff R. und Mescheritskaja R.: Die Veränderungen des Blutumsatzes unter dem Einfluß systematischer Quarzlampenbestrahlung. Dtsch. Arch. klin. Med. 174 / 1932.

Vogt A.: Ueber normale und krankhafte Wirkungen des Lichts auf das Auge. Zürich 1924.

— Eine neuartige, experimentelle Starform. Klin. Mon. Bl. Augenheilkunde. 86 / 289 / 1931.

Vogt E.: Ueber die Steigerung der Brustdrüsenfunktion durch Bestrahlung mit künstlicher Höhensonne. Dtsch. med. Wschr. 1367 / 1928.

Voltz F.: Pigmentbildung und Strahlenbehandlung. Radiolog. Rundschau. 1 / 93 / 1932.

Wellisch E.: Ueber die therapeutische Bedeutung des Quarzlichterythems. Med. Welt 35 / 1935.

Winterstein O.: Lichtwirkung auf Bakterien. Str. Th. 39 / 1931.

Zimmer K.: Strahlungen. G. Thieme. Leipzig 1937.

Lebenslauf.

Ich, Heinz Kuestermann, wurde als Sohn des Justizoberinspektors Fritz Kuestermann am 22. August 1909 in Lyck, Ostpreußen, geboren. Hier besuchte ich zunächst die Vorschule, dann die Realschule und kam anschließend auf die Oberrealschule in Treuburg, wo ich im März 1931 die Reifeprüfung bestand. Ich begann dann das Medizinstudium an der Universität München, studierte weiter in Hamburg und Königsberg, wo ich im Sommersemester 1933 die ärztliche Vorprüfung ablegte. Während sämtlicher klinischer Semester war ich in München und beendete hier am 18. Dezember 1936 das Staatsexamen. Zurzeit bin ich Medizinal-Praktikant an der Psychiatrischen und Nervenklinik in München.